

Universidad Carlos III de Madrid

Ingeniería de Telecomunicación



Resumen Proyecto Fin de Carrera

# **DISEÑO, SIMULACION Y MEDIDAS DE ANTENAS DE BANDA ANCHA PARA RED INALAMBRICA CORPORAL**

<b>AUTOR:</b>	<b>Ernesto E. López Canelón</b>
<b>DIRECTOR:</b>	<b>Rohit Chandra</b>
<b>EXAMINADOR:</b>	<b>Anders J. Johansson</b>
<b>TUTOR:</b>	<b>María Julia Fernández-Getino García</b>

**7 SEPTIEMBRE 2012, LUND, SUECIA**



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>5</b>
<b>2. Método de desarrollo</b>	<b>7</b>
2.1. Proceso de diseño y fabricación . . . . .	7
2.2. Acerca de SEMCAD . . . . .	8
<b>3. Diseño de antenas: resultados obtenidos</b>	<b>9</b>
3.1. Antena “Volcano” . . . . .	9
3.1.1. Simulaciones . . . . .	10
3.1.2. Medidas . . . . .	11
3.2. Antena “Diábolo” . . . . .	14
3.2.1. Simulaciones . . . . .	15
3.2.2. Medidas . . . . .	17
<b>4. Conclusión</b>	<b>21</b>





# Introducción

La WBAN (Wireless Body Area Network) es una tecnología relativamente nueva que consiste en dispositivos compactos de bajo consumo que se comunican de forma inalámbrica entre diferentes partes del cuerpo o con dispositivos externos. Esta tecnología es muy interesante para aplicaciones médicas ya que permite la transmisión de datos entre estos dispositivos, como los implantes (marcapasos, audífonos o sensores para la monitorización de la temperatura) o dispositivos genéricos para la presentación, almacenamiento y comunicación de datos [1]. WBAN puede ofrecer numerosas posibilidades para mejorar la atención sanitaria y facilidades para el entrenamiento deportivo.

Una parte muy importante de la tecnología WBAN es la antena utilizada para recibir y transmitir datos. Estas antenas tienen características específicas que las diferencian de otro tipo de antenas. En este caso, la antena debe ser diseñada para tener un tamaño pequeño, ya que son portátiles o implantables. Dependiendo de la aplicación, pueden necesitar un patrón de directividad baja, como en el caso de la comunicación entre los dispositivos que están en el cuerpo, ya sea en el mismo lado o en el lado opuesto del cuerpo. La antena también debe ser capaz de superar el efecto de las propiedades dieléctricas del cuerpo humano que afectará a las propiedades correspondientes de la antena. Para el escenario en el cuerpo, la antena debe estar polarizada linealmente, y se debe colocar con el campo eléctrico perpendicular al cuerpo para que la onda viaje por la superficie. La radiación hacia el cuerpo debe ser de baja energía ya que el dispositivo estará cerca de la persona. En algunas aplicaciones se necesita alta velocidad en datos. Con la tecnología Ultra-WideBand (UWB) pueden cumplirse todos estos requisitos.

Se han realizado muchas investigaciones para desarrollar antenas UWB planas/microstrip

en la red de área corporal ya que son de fácil fabricación, bajo coste y pueden ser muy pequeñas. Estas antenas no son completamente omnidireccionales y normalmente presentan una directividad alrededor de 5-7 dB [2]. Además, pueden presentar un patrón de radiación inestable que es diferente dependiendo de la frecuencia [3]. El propósito de este proyecto es diseñar una antena omnidireccional, linealmente polarizada, adaptada en el rango UWB (3 GHz- 10GHz), 3-D, pequeña y que se adapte a todos los requisitos explicados anteriormente. Como resultado se han diseñado dos antenas que cumplen estos requisitos: la antena “Volcano” y una biconical modificada a la que llamamos “Diábolo” por su forma.

# Método de desarrollo

## 2.1. Proceso de diseño y fabricación

Una vez que se ha estudiado la idea inicial de la antena, se hace un modelado en 3D y se simulan los resultados en SEMCAD (Simulaation Platform for ElectroMagnetic Compatibility, Antenna Design). Esta simulación nos dará un conocimiento aproximado de su comportamiento, mostrando el campo cercano, campo lejano y las mediciones de las pérdidas, corriente, tensión, potencia, impedancia y la ROE (Relación de Onda Estacionaria). En segundo lugar, el diseño se mejora con el fin de obtener menos pérdidas por adaptación, el patrón de radiación deseado y un tamaño más pequeño. Una vez conseguidos los parámetros necesarios, el diseño es enviado a fabricar. La empresa encargada de este procedimiento es Shapeways [\[4\]](#), una spin-out de Royal Philips Electronics. Es una empresa de impresión en 3D con sede en Nueva York, con oficinas en Eindhoven y Seattle. Ellos proporcionan una plataforma donde el usuario puede subir su propio diseño, el cual fabricarán y enviarán al usuario. Se puede elegir la fabricacion en varios materiales como plástico, vidrio y metal. El acero inoxidable y la plata son los metales disponibles, por lo que las antenas desarrolladas aquí se hicieron de acero inoxidable por motivos económicos. Las características técnicas de este acero inoxidable usado para la impresión 3D se muestran en el siguiente enlace [\[4\]](#). Una vez se ha recibido la antena se procede a su medición. Para esto hemos usado un analizador de red o VNA (Vector Network Analyzer). El proceso completo que se ha seguido para el diseño de la antena se muestra en la figura [2.1](#).

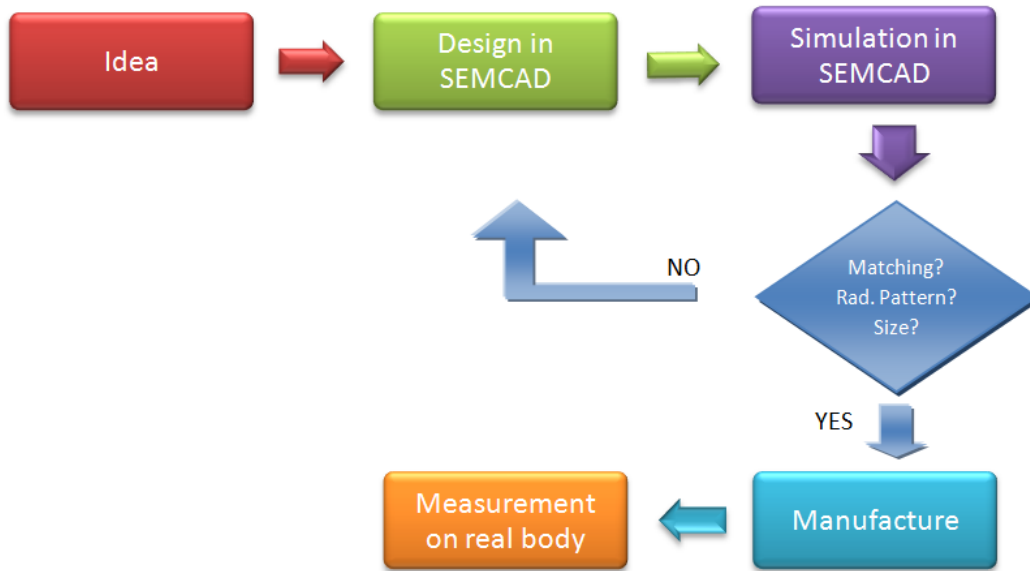


Figura 2.1: *Gráfico de flujos del proceso.*

## 2.2. Acerca de SEMCAD

Para medir y simular las antenas, se ha utilizado el software SEMCAD-X [5]. SEMCAD es una potente herramienta TCAD (Technology Computer Aided Design) para el análisis, diseño y optimización de antenas desarrollados por SPEAG (Schmid & Partner Engineering AG). Fue lanzado por primera vez en diciembre de 2000, y se han desarrollado varias versiones. La que se ha utilizado en este proyecto es la SEMCAD X 14.6. Esta herramienta es una completa plataforma 3-D para simulación y cálculo de ondas electromagnéticas basada en el método FDTD (Finite Difference Time Domain) y FEM (Finite Element Method). Como característica interesante, este software incluye varios modelos anatómicos (humanos y animales) no homogéneos y de alta resolución que lo hacen idóneo para el estudio del efecto del tejido en los campos electromagnéticos. SEMCAD es una de las herramientas más eficientes para el diseño y simulación de antenas del mercado [5].

## Diseño de antenas: resultados obtenidos

### 3.1. Antena “Volcano”

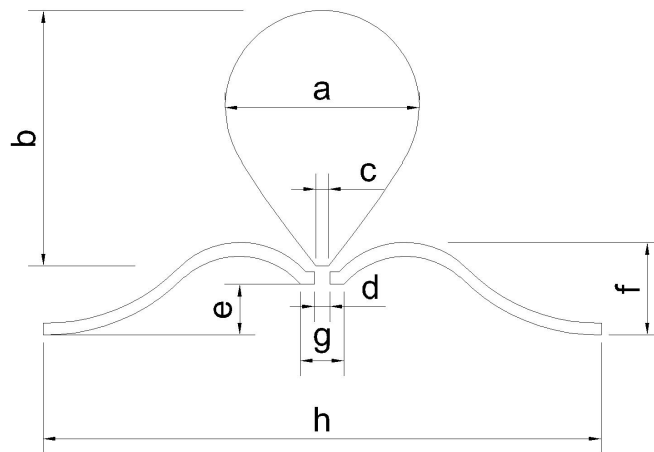


Figura 3.1: *Dimensiones de la antena “Volcano”*

Esta antena fue propuesta por primera vez por Kraus [6], pero no hay ecuaciones o parámetros publicados. Se han llevado a cabo aproximaciones de la antena volcano en antenas planas [7] [8] [9]. En este proyecto, se desarrolla un modelo 3D con la mitad del tamaño de las antenas planas previamente estudiadas.

El resultado final en tamaño es de  $a = 16$  mm,  $b = 21$  mm,  $c = 1,5$  mm,  $d = 2$  mm,  $e = 4,2$  mm,  $f = 8$  mm,  $G = 3,5$  mm,  $h = 45,6$  mm, como se muestra en la figura 3.1. En la parte

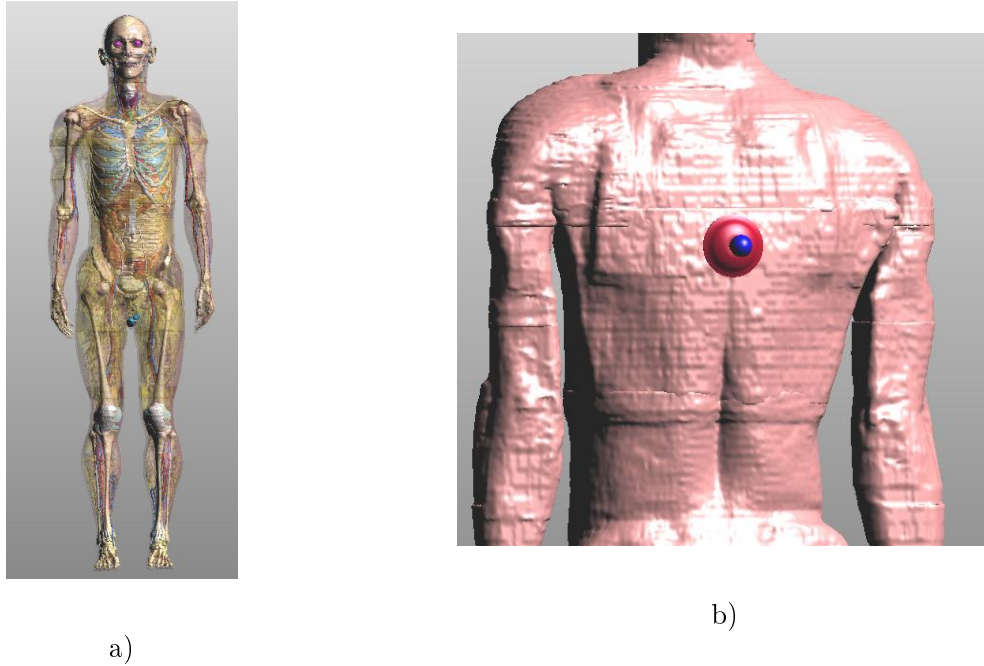


Figura 3.2: **Figura corporal humana homogénea.** (a) *Vista frontal.* (b) *Posición de la antena en el cuerpo.*

inferior del cono del cilindro hay un pequeño agujero con un radio de 1,6 mm que permite la conexión a la alimentación. La altura máxima de la lágrima resultó ser alrededor de un cuarto de onda de la frecuencia mínima de funcionamiento.

### 3.1.1. Simulaciones

La antena se ha simulado sobre un modelo del cuerpo humano con las propiedades deléctricas de la piel con el objetivo de estudiar el efecto del mismo y verificar la utilidad de la antena. La antena se coloca en la parte posterior del cuerpo, donde la superficie es muy plana, como se muestra en la figura 3.2 (b), resultando el parámetro  $S_{11}$  mostrado en la figura 3.3. Los resultados muestran una completa adaptación en el rango de frecuencias.

El **diagrama de radiación** a las mismas frecuencias que para el caso anterior se presenta en las figuras 3.4 y 3.5 (a). Se puede observar el comportamiento omnidireccional de la antena a través de la polarización perpendicular ( $\theta$ , normal al cuerpo) en los  $360^\circ$ , que además es mucho más fuerte que la componente horizontal ( $\theta$ , paralelo al cuerpo). A partir de esto vemos que la antena tiene una polarización lineal, que es uno de los objetivos, ya que esta componente es la que viajará sobre la superficie del cuerpo. La transmisión se llevará a cabo en la polarización

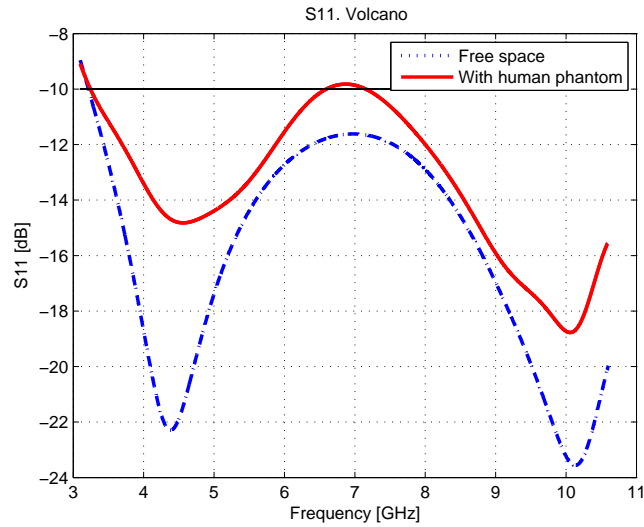


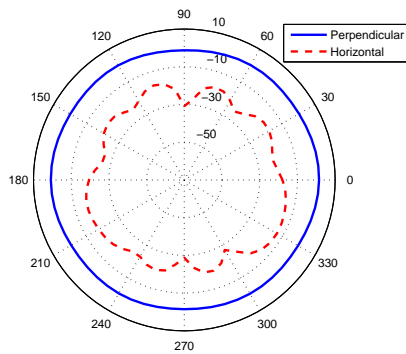
Figura 3.3: Parámetro  $S_{11}$  para la antena “Volcano” en espacio libre y en presencia de una figura humana.

perpendicular. Esto es muy útil para las transmisiones en el cuerpo, donde pueden estar el transmisor y el receptor localizados en el hombro y la cintura, por ejemplo. De esta manera, la transmisión tendrá éxito, y se reduce la radiación hacia el interior del cuerpo.

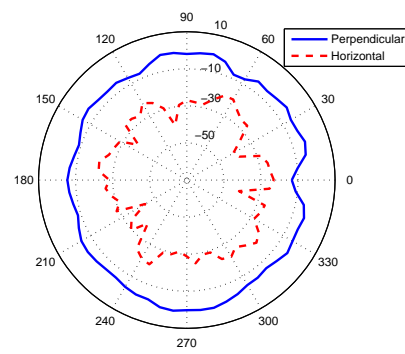
### 3.1.2. Medidas

La medida de la antena fabricada se realizó con el analizador de red tras cubrir la antena con cobre para mejorar su conductividad. El aspecto final de la antena se puede ver en la figura 3.6 (b).

Las medidas con el VNA sólo muestran los resultados hasta 8 GHz por limitación del equipo de medición. Sin embargo, las simulaciones mostraron una disminución de  $S_{11}$  a partir de 7 GHz, tanto en el espacio libre como con la figura humana, alcanzando el mínimo en 10,1 GHz, por lo que esta limitación no parece tan grave. Como se puede observar en la figura 3.7 (a), el parámetro  $S_{11}$  en espacio libre es inferior a -10 dB en toda el rango. La frecuencia de corte inferior es 3,16 GHz, casi el mismo que el extraído de las simulaciones, que era 3,2 GHz. El mínimo de  $S_{11}$  se encuentra a 4 GHz, como lo fue en las simulaciones. Para medir las antenas sobre el cuerpo se colocaron las antenas sobre la palma de la mano como primera aproximación. En este caso, la frecuencia de corte inferior es de 3,11 GHz, casi el mismo que el resultado simulado, que era 3,2 GHz. En ambos casos, se observan varios picos, como resultado de los efectos del cable que son

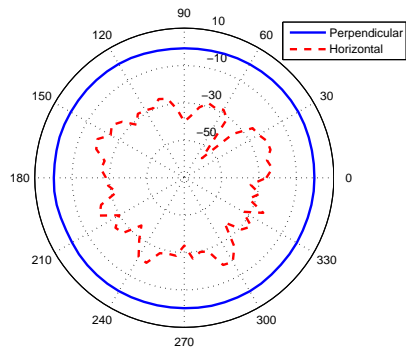


a)

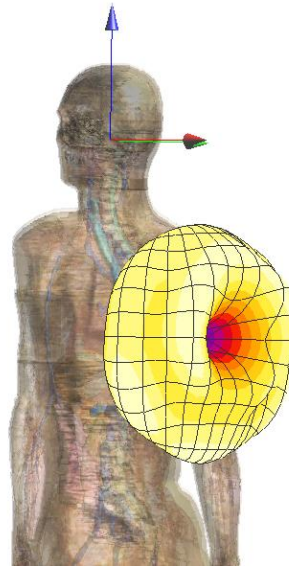


b)

Figura 3.4: Diagrama de radiación de la antena “Volcano” en presencia de una figura humana homogénea. (a) a 3.1 GHz. (b) a 10.6 GHz.



a)



b)

Figura 3.5: Diagrama de radiación de la antena “Volcano” en presencia de una figura humana homogénea. (a) a 6.85 GHz. (b) a 6.85 GHz (3D).



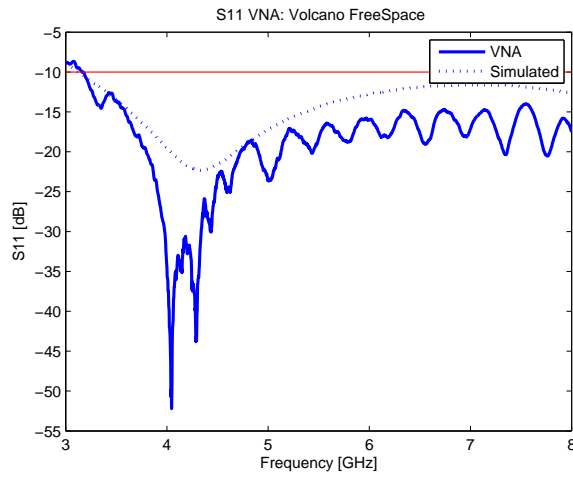


a)

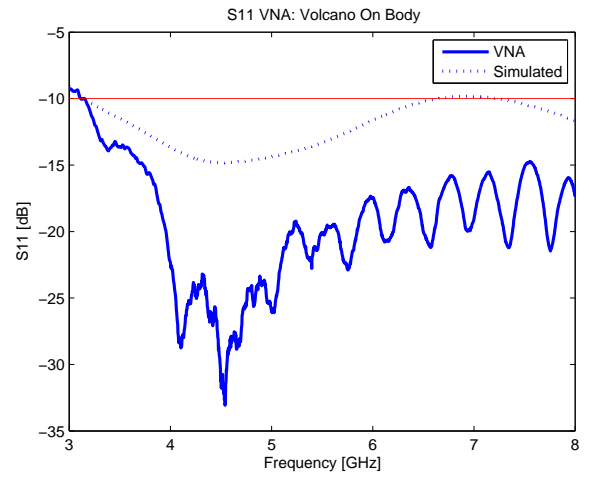
b)

Figura 3.6: Antenas fabricadas. (a) Antena de acero con conector SMA. (b) Antena cubierta de cobre y un conector más estrecho de 14 cm de longitud.

importantes debido al tamaño de las antenas y que no se pueden eliminar completamente. Aún así se cumple con las especificaciones de adaptación en todo el espectro.



a)



b)

Figura 3.7: Parámetros  $S_{11}$  medidos con un VNA. (a) Espacio libre. (b) En el cuerpo (mano).

### 3.2. Antena “Diábolo”

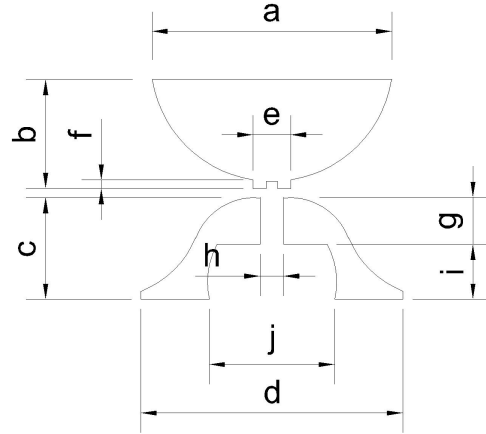
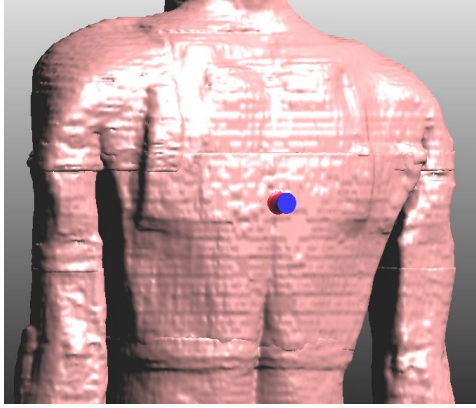
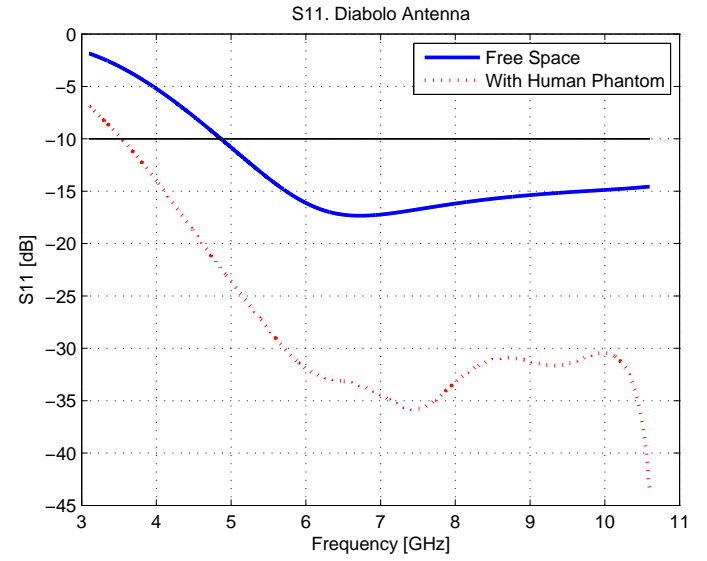


Figura 3.8: Dimensiones de la antena “Diábolo”.

Esta antena se ha diseñado tomando como inspiración la antena bicónica y la antena Vivaldi. Como la antena bicónica, está formada por dos partes opuestas, una placa y un conductor superior. La alimentación se encuentra entre ellos. En lugar de tener líneas rectas tiene una forma curva como la antena Vivaldi, que tiene como resultado una antena en forma de diábolo. Una antena bicónica es teóricamente capaz de ofrecer una adaptación de impedancia independiente de la frecuencia si tiene longitud infinita [10]. En un escenario real, el tamaño tiene que ser truncado, puesto que no es posible construir antenas infinitas, y esto también limita el ancho de banda. La idea de hacer más suave la antena se debe a que pasar de transiciones bruscas a más graduales da como resultado mayor ancho de banda [6]. La polarización de esta antena también es lineal, lo que la hace capaz de ser utilizada en la polarización vertical sobre el cuerpo, haciendo que la onda progresiva viaje en la superficie. Esta antena es más pequeña que la antena anterior. El diseño final se puede ver en la figura 3.8. Se compone de un hemisferio con un tubo de salida como elemento radiante, y un plano de tierra. El tamaño de la antena es:  $a = 15,3$  mm,  $b = 7$  mm,  $c = 6,5$  mm,  $d = 16,7$  mm,  $e = 2,4$  mm,  $f = 1$  mm,  $g = 3$  mm,  $h = 1,8$  mm,  $i = 3,5$  mm,  $j = 7$  mm y una distancia entre los conductores de 0,53 mm. Los parametros  $h$  y  $j$  se establecen para adaptar la antena a un conector SMA.



a)



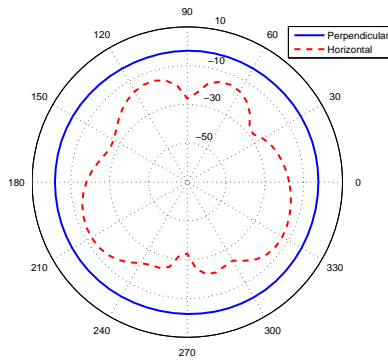
b)

Figura 3.9: Parámetro  $S_{11}$  en presencia de una figura humana. (a) Posición de la antena. (b) Gráfico  $S_{11}$ .

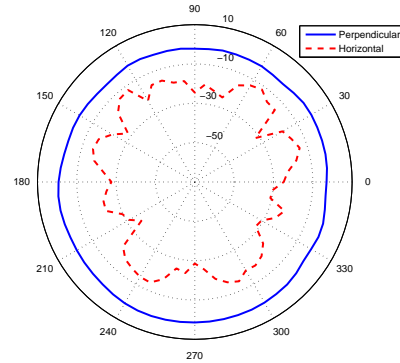
### 3.2.1. Simulaciones

La antena “Diábolo” también fue simulada sobre un cuerpo homogéneo con las propiedades dieléctricas de la piel a la frecuencia central del rango UWB. El resultado del parámetro  $S_{11}$  se presenta en la figura 3.9 (b). Se puede observar que la antena cumple los requisitos de adaptación en el margen de frecuencias deseado.

El **diagrama de radiación** para diferentes frecuencias (3,1 GHz, 6,85 GHz y 10,6 GHz) en presencia de una figura corporal homogénea se muestra en las figuras 3.10 y 3.11 (a). Se observa la polarización lineal en la componente perpendicular y el diagrama omnidireccional en todo el espectro UWB.

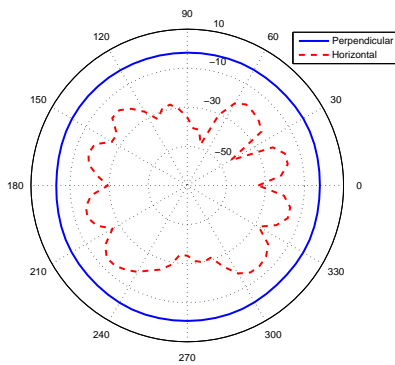


a)

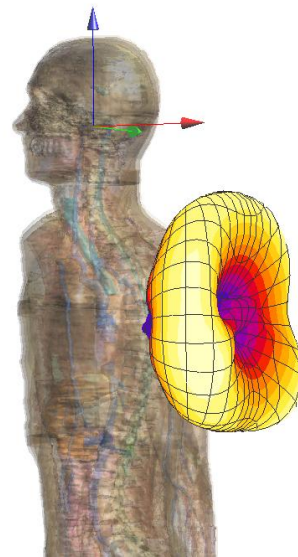


b)

Figura 3.10: Diagrama de radiación de la antena “Diábolo” en presencia de una figura humana. (a) a 3.1 GHz. (b) a 10.6 GHz.



a)



b)

Figura 3.11: Diagrama de radiación de la antena “Diábolo” en presencia de una figura humana. (a) a 6.85 GHz. (b) a 6.85 GHz (3D).

## 3.2.2. Medidas

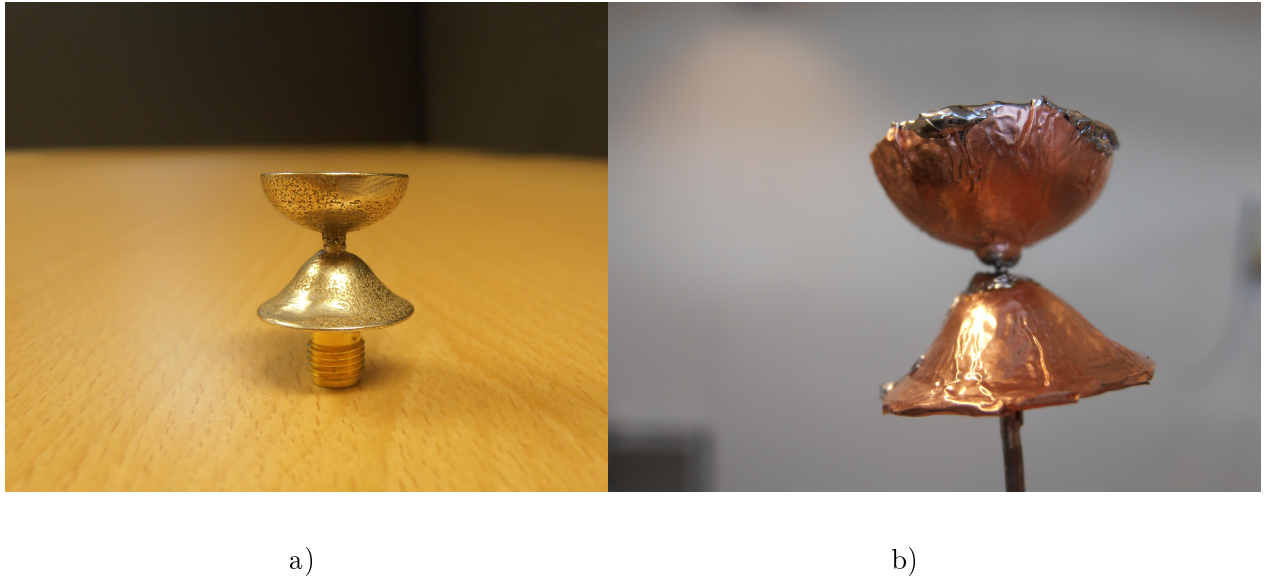


Figura 3.12: Antenas fabricadas. (a) Antena de acero con conector SMA. (b) Antena cubierta de cobre y un conector más estrecho de 14cm de longitud.

Para comprobar el resultado obtenido a través de las simulaciones, la antena “Diábolo” se midió con el VNA. Aparecieron los mismos problemas con el acero y los efectos del cable, por lo que se tuvo que cubrir la antena con cobre y la soldadura de un cable fino para el punto de alimentación, como en el caso anterior. El aspecto de la antena “Diábolo” se muestra en la figura 3.12 (b). Los resultados se muestran en la figura 3.13. Para tomar la medida sobre el cuerpo, las manos se colocaron por debajo del plano de tierra de la antena. Se observa que la antena está adaptada en todo el rango UWB como aparecía en la simulación. Los picos observados en toda la gama son el resultado de los efectos del cable, que no podían eliminarse completamente, como se ha mencionado antes.

El parámetro  $S_{11}$  define las pérdidas de retorno de la antena al alimentarla, pero no prueba que las antenas están realmente radiando ya que podrían estar gastando toda la potencia en calentar la antena. Para comprobar la transmisión se midió el parámetro  $S_{21}$  entre las dos antenas con el VNA. Esto no nos dará ningún resultado cuantitativo, pero nos ayudará a comprobar si las antenas están radiando. La figura 3.14 muestra el parámetro  $S_{21}$  en espacio libre cuando una antena se coloca a 20 cm de distancia de la otra. La figura 3.14 (a) muestra la co-polarización con un valor promedio de -34 dB, que es alrededor de 20 dB superior a la polarización cruzada (en

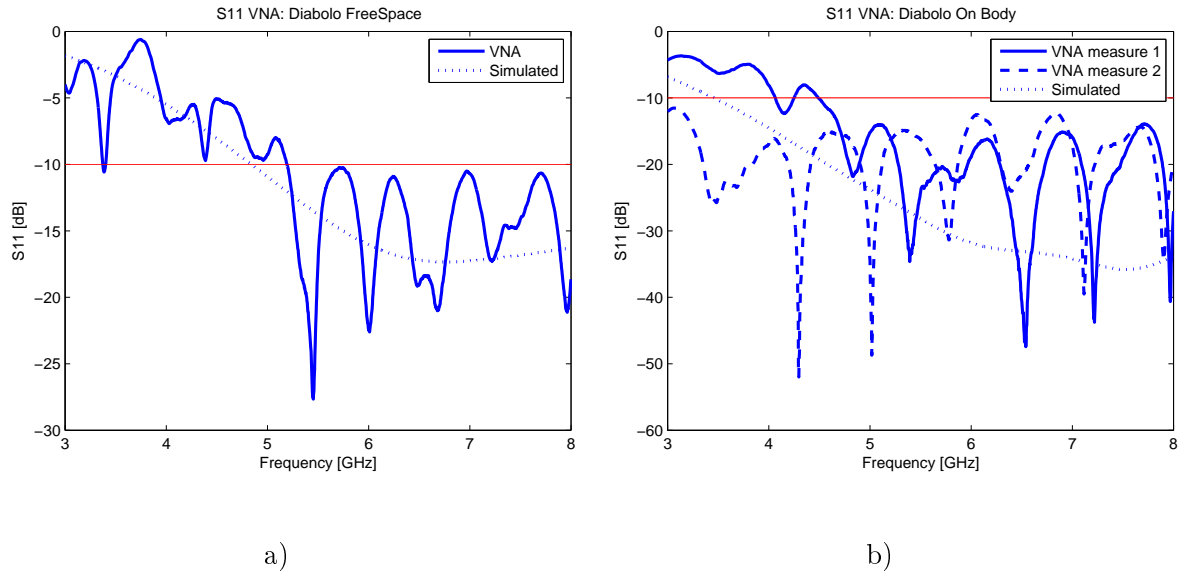


Figura 3.13: Parámetros  $S_{11}$  medidos en un VNA . (a) *Espacio libre.* (b) *Sobre el cuerpo (mano).*

torno a -50 dB) que se muestra en la figura 3.14 (b). Esto, además de demostrar la transmisión, valida la polarización lineal de las antenas.

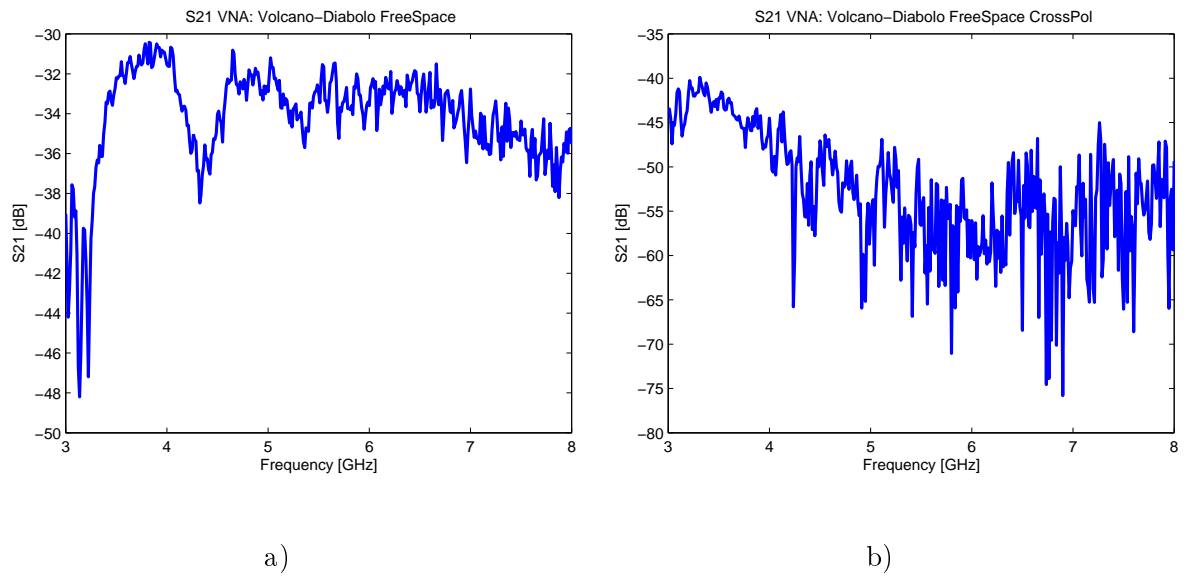


Figura 3.14: Parámetros  $S_{21}$  (“Volcano-Diábolo”) medidos en un VNA. (a) *Co-Polarización*. (b) *Polarización cruzada*.





## Conclusión

En este proyecto se han diseñado dos antenas UWB 3D para ser utilizadas en un escenario WBAN: la antena “Volcano” (27x45x45 mm) y una antena en forma de “Diábolo” (15x17x17 mm). En ambos casos se consigue la adaptación dentro de la gama UWB (3,1 GHz - 10,6 GHz).

El diseño de las antenas se ha realizado mediante el uso de la herramienta software SEMCAD X para realizar las simulaciones. Se han simulado para cada antena ambas situaciones, en espacio libre y con la presencia de una figura humana homogénea. Posteriormente, los resultados han sido revisados con un analizador de red vectorial (VNA).

Los diagramas de radiación siguen una distribución omnidireccional y una polarización lineal en todo el rango de frecuencias. La antena “Volcano” presenta un parámetro más estable  $S_{11}$  en presencia de un cuerpo humano. Por otro lado, la antena “Diábolo” presenta un  $S_{11}$  más sensible sobre el cuerpo humano. Esto es debido al menor tamaño del plano de tierra.

Durante el proceso de medición, aparecieron varias dificultades. En primer lugar, el metal usado para la fabricación de la antena (acero) presentó problemas de soldadura, ya que el estaño no se adhiere bien al metal. En segundo lugar la conductividad del acero era demasiado mala para asumir un conductor perfecto. Como resultado de esto se plantearon muchas alternativas para solucionarlo. Finalmente para resolver este problema la antena se cubrió con cobre. Otro problema fue el efecto de cable debido al pequeño tamaño de las antenas. Este problema se resolvió parcialmente mediante la adición de un cable delgado (14 cm) entre el punto de alimentación y el conector SMA.



# Bibliografía

- [1] H. Sjöland, P. Nilsson, and R. Chandra. J. Neves Rodrigues A.J.Johansson. A receiver architecture for devices in wban. *Emerging and selected topic in circuits and systems*, 2:82–95, March 2012.
- [2] <http://www.antenna-theory.com/basics/directivity.php>.
- [3] Karu P. Esselle Tharaka Dissanayake. How do you select the best antenna for you ultra-wideband system. *Workshop on applications of radio science.La Trobe University, Victoria Austalia.*, Feb 2006.
- [4] <http://www.shapeways.com/materials/material-options>.
- [5] <http://www.speag.com/products/semcad/solutions/>.
- [6] John D. Kraus. *Antennas for all applications*. Mc Graw Hill., Avenue of americas, NY 10020, third edition, 2002.
- [7] Takehiko Kobayashi Takuya Taniguchi. An omnidirectional and low-vswr antenna for the fcc-approved uwb frequency band. *IEEE antennas and propagation society international symposium*, 3:460–463, june 2003.
- [8] G.P. Gao, X.X. Yang, J.S. Zhang, and J.X. Xiao. A printed volcano smoke antenna for uwb and wlan communications. *Progress in electromagnetics research M.*, 4:55–61, 2008.
- [9] K. Sato K. Koshiji F. Koshiji, T. Eguchi. Proposal and investigation of a flat type small volcano smoke antenna. *International Symposium on antennas and propagation*, pages 1–6, 2006.

- [10] B. Allen. *Ultra-wideband Antennas and Propagation*. John Wiley&sons, West Sussex, England, first edition, 2007.